

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

曲線テーパ導波路を用いたスポットサイズ変換器のADI-BPM解析

著者	日野 浩詳
出版者	法政大学大学院理工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	59
ページ	1-2
発行年	2018-03-31
URL	http://doi.org/10.15002/00021571

曲線テーパ導波路を用いた スポットサイズ変換器の ADI-BPM 解析

ADI-BPM ANALYSIS OF A SPOT-SIZE CONVERTER
USING A CURVILINEARLY TAPERED WAVEGUIDE

日野 浩詳

Hiroyoshi HINO

指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

This paper clarifies that the length of a spot-size converter is sufficiently reduced by introducing a curvilinearly tapered structure. The analysis is carried out using the beam-propagation method (BPM) based on the alternating direction implicit (ADI) scheme. Special attention is paid to the local taper angle between the waveguide axis and the tangent to the core-cladding interface, since the taper angle is closely related to radiation. It is found that the present curvilinearly tapered profile is consistent with the guideline determined by equating the local taper length to the beat length between the guided and radiation modes.

Key Words : Spot-size converter, Alternating direction implicit scheme, Curvilinear taper, Beam-propagation method.

1. はじめに

3次元光導波路の解析及び設計には、交互方向陰解法に基づくビーム伝搬法 (ADI-BPM) [1] が広く用いられてきた。ADI-BPM は、演算子を分割し 2つのステップに分けて計算を行うことにより、解析時間の短縮化を図っている。そのため 1st step の計算方向がパワー保存性に及ぼす影響については、検討が必要である。一方、文献 [2] では直線テーパを用いたスポットサイズ変換器が提案されている。筆者らは、より小型に動作することを意図し、曲線テーパを用いたデバイスを開発してきた。しかしながら、TM モードにおいて、変換率が低下する問題があった [3]。

本稿の目的は、ADI-BPM において注意すべき点を明らかにした上で、曲線テーパを導入したスポットサイズ変換器を提案し、その特性を詳細に議論することにある [4], [5]。はじめに、コア部に直線テーパを用いたスポットサイズ変換器を例にとり、ADI-BPM のパワー保存性を評価する。次に、コア部のテーパ形状を曲線化し放射損を抑制するガイドライン [6] と比較検討をする。ガイドラインに接近した構造を解析することで、水平方向のテーパのみで TM モードに関しては、従来の 1/3 に短縮されたデバイス長でほぼ同等の特性が得られることを明示する。

2. 本論

解析に用いる構造の鳥瞰図を図 1 に示す。構造値は Si コアの屈折率を $n_{co} = 3.48$ 、基板の屈折率を $n_s = 1.44$ とする。コアに被せるクラッドとオーバークラッドの屈折率は $n_{cl} = 1.50$ 、 $n_{ocl} = 1.465$ にそれぞれ選ぶ。クラッド幅 $w_{cl} = 3.0 \mu\text{m}$ 、入出力端におけるコア幅をそれぞれ $w_i = 0.3 \mu\text{m}$ 、 $w_o = 0.04 \mu\text{m}$ とする。デバイス長 $l = 100 \mu\text{m}$ とし解析を行う。解析には、電界と磁界に基づくフルベクトル BPM [7] を用い、パワーは

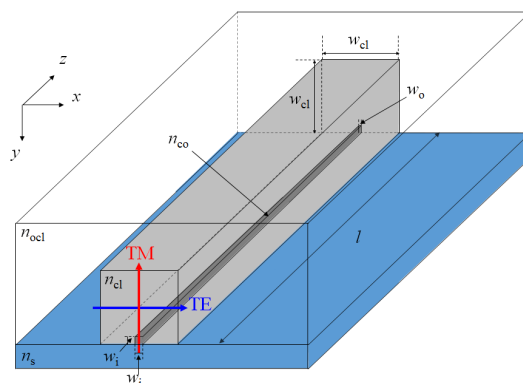


図 1 導波路型スポットサイズ変換器 (鳥瞰図)

ポインティングベクトルで評価する。伝搬方向への屈折率変化を考慮し、参照屈折率を伝搬ステップごとに更新する。波長は $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ とする。

(1) ADI-BPM のパワー保存性

はじめに、1st step を x 方向及び y 方向から計算を行った際のパワー保存性について議論する。図 2 に、TE 及び TM モードを入射した場合における、伝搬距離に対する正規化パワーを示す。便宜上 x 方向から計算する場合を x -type、 y 方向から計算する場合を y -type とする。図より、どちらのモードにおいても、 x -type の場合、パワー保存性の悪化していることが観察される。このことから ADI-BPM において 1st step の計算方向は伝搬方向に屈折率変化の影響を受けない方向から計算すべきであると言える。

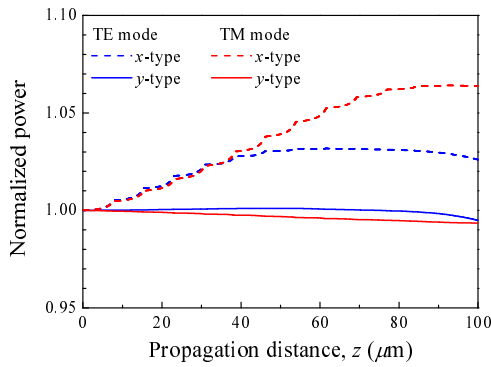


図 2 伝搬距離に対する正規化パワー ($\Delta z = 10$ nm)

(2) ガイドラインとの比較

本節では、コア部に曲線テーパを用いた構造を取り扱う。提案するテーパ形状の式を以下に示す。

$$w_{co}(z) = w_i \left(\frac{w_o}{w_i} \right)^{\left(\frac{z}{l} \right)^r} \quad (1)$$

式 (1) において、 z はテーパ部の軸距離を示している。また、 r はテーパ次数を示し、 $r = 1$ で直線テーパ、 $r > 1$ で曲線テーパになる。文献 [6] では、テーパ導波路において、放射損を抑制する規準条件が示されている [6]。具体的には、以下を満たせば、放射は十分に小さいとみなせる。

$$\Omega(z) \leq \frac{w(z)(\beta(z) - kn_{ocl})}{2\pi} \quad (2)$$

ここで、 $w(z)$ はコア幅 $w_{co}(z)$ の半分の幅、 $\Omega(z)$ は、伝搬軸とコア/クラッド境界がなすテーパ角、 $\beta(z)$ は任意の z に対する $x-y$ 断面における基本モードの伝搬定数、 k は自由空間波数である。式 (2) において、左辺と右辺が等しい場合をガイドラインと呼ぶ。

図 3 に、本構造における $w(z)$ に対するテーパ角の結果を白抜きで示す。 $r = 0.63$ に選択している。破線は、文献 [3] で最適とされた構造の結果である。また青と赤の実線は TE 及び TM モードのガイドラインを示している。ガイドラインに従うと、入力端ではテーパ角を大きく選べ、出力端ではテーパ角を小さくする必要が見出せる。文献 [3] の構造の場合、入力端付近においてガイドラインを下回り、出力端付近において上回る問題があった。本構造は、文献 [3] の結果と比較すると、入力端付近においてガイドラインに近づくことが確認できる。

最後に、この構造における導波モードパワーの波長特性を図 4 に示す。比較として、デバイス長が $300 \mu\text{m}$ を要していた文献 [2] の結果を併記している。図より、TE モードでは解析した波長帯域において約 80 % と低下するものの、TM モードにおいては、短波長側において、文献 [2] の構造における結果よりも高効率にスポットサイズ変換が可能となる。

3. まとめ

直線テーパを有するスポットサイズ変換器を ADI-BPM を用いて解析した。ADI-BPM において、1st step の計算は、

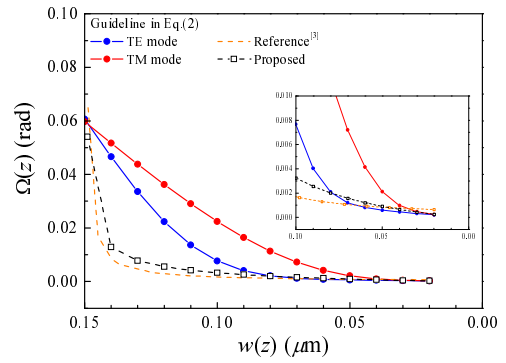


図 3 $w(z)$ に対するテーパ角

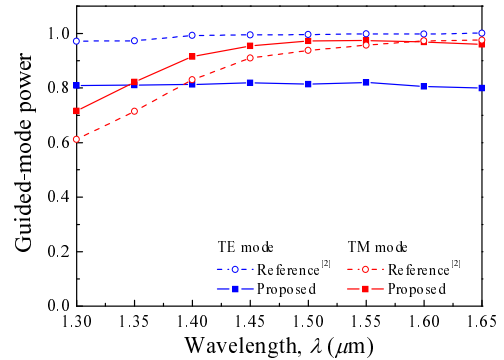


図 4 導波モードパワーの波長特性

伝搬方向に屈折率変化のない方向から計算することにより、パワー保存性が改善されることを示した。次に、ガイドラインに接近したテーパ形状を有するスポットサイズ変換器を解析した。TM モードにおいて、文献 [2] の構造よりも短軸長でスポットサイズ変換が達成できることを明示した。

参考文献

- 1) J. Yamauchi, T. Ando, and H. Nakano, "Beam-propagation analysis of optical fibres by alternating direction implicit method," *Electron. Lett.*, vol. 27, no. 18, pp. 1663-1665, 1991.
- 2) T. Tsuchizawa, K. Yamada, H. Fukuda, T. Watanabe, J. Takahashi, M. Takahashi, T. Shoji, E. Tamechika, S. Itabashi, and H. Morita, "Microphotonics devices based on silicon microfabrication technology," *J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 11, no. 1, pp. 232-240, 2005.
- 3) 日野 浩詳, 山内 潤治, 中野 久松, "導波路型スポットサイズ変換器における曲線テーパ構造の有効性," 信学ソ大, C-3-2. 2017.
- 4) 山内 潤治, 日野 浩詳, 中野 久松, "伝搬方向に構造が変化する光導波路解析における ADI-BPM のパワー保存性," 信学総大, C-15-9. 2017.
- 5) 日野 浩詳, 山内 潤治, 中野 久松, "曲線テーパ導波路を用いたスポットサイズ変換器の ADI-BPM 解析," 信学技報, vol. 117, no. 406, OPE2017-120, pp. 21-26, 2018.
- 6) F. Ladouceur and J. D. Love, "Silica-Based Buried Channel Waveguides and Devices," U.K., London:, 1996.
- 7) Y. Nito, T. Oda, S. Takase, J. Yamauchi, and H. Nakano, "A beam-propagation method using both electric and magnetic fields," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 23, no. 7, pp. 429-431, 2011.